

ブリューワー分光光度計用自動遮蔽装置による 散乱波長別紫外域日射の定常観測

伊藤 真人*

Diffuse Spectral UVB Observation using Brewer Spectrophotometer and New Automated Shadow Unit

Mahito ITO

Abstract

A diffuse Brewer spectrophotometer for continuous operation through seasons was developed by replacing the previous manual shadowing device (Ito : 2005b) with automated shadow unit controlled by computer. In this paper, the system of the automated shadow unit, the setup procedures, and the results of diffuse spectral UVB measurements carried out for six months from August 2005 to January 2006 are presented. They are summarized as follows: 1) The new diffuse system is comprised of black shade ball, rotating frame, automatic rotating unit, binding frame and control PC (set indoors). The whole system was mounted on Brewer MKII #058. Shading of UV quartz dome is bimodal, i.e. intermittent mode and continuous mode. In the intermittent mode, three sets of shade/open time sequences can be programmed in an hour. 2) Shadow effect of the rotating frame was confirmed to be negligible comparing with global Brewer MKII #052 on a clear sky day. 3) Monthly maximum diffuse UVB irradiance ratio (diffuse UVB / global UVB) of 0.908 was observed in October and the minimum of 0.845 in December during the observation period. Average over six monthly means of diffuse UVB irradiance ratio was 0.871 contrasting to 0.552 for diffuse solar irradiance ratio (diffuse solar / global solar). 4) As for daily diffuse UVB irradiance ratio, the minimum of lower limit envelope appeared as 0.62 around early September, which increased toward winter season and reached 0.78. On the other hand, diffuse solar irradiance ratio had the minimum of 0.18 with no significant seasonal dependence during the period. 5) Monthly spectral diffuse UVB irradiance ratio had clear seasonal change and commonly indicated the negative linear dependence on wavelength. 6) Correlation between diffuse UVB ratio and diffuse solar ratio clarified the significantly different behavior of UVB and solar radiation in the atmosphere.

1. はじめに

従来、散乱波長別紫外域日射(Diffuse Spectral Ultraviolet Radiation)を数%以内の誤差で観測した例は世界的にも極めて少なく、その観測は全球気候モデルを考える上でも地面反射波長別紫外域日射観測(伊藤 : 2004, 2005a)と同様、強く求められていた。そこで前報告(伊藤 : 2005b)では、ブリューワー分光光度計(Brewer Spectrophotometer : 以下 Brewer と呼ぶ)用の簡易型(手動型)遮蔽装置を製作し、主に快晴状況下で観測を実施した。

その結果、1) 紫外域日射散乱率は、南中時に最小となる日変化を示し、9h30m~14h30m で約 0.81(南中時は約

0.77)となる、2) 波長別紫外域日射散乱率は長波長域ほど低く、その低下率は約 0.3%/nm を示す、3) 快晴の場合、紫外域日射散乱率は日射散乱率より約 3.5~4 倍高い値を示す、4) 日射散乱率は夏季から秋冬季に減少傾向となるが、紫外域日射散乱率は微弱な減少傾向しか示さない、さらに散乱率を左右する各種要素との関係を調査した結果、5) 紫外域日射散乱率は太陽天頂角 $Z=30^\circ$ 以上で徐々に増加し、 $Z=75^\circ$ でほぼ散乱率限界の 1.0 となる、6) 視程が遠くなれば、日射散乱率、紫外域日射散乱率ともに減少するが、その減少傾向は日射散乱率のほうがより顕著である、7) 大気混濁度が大きくなると、日射散乱率、紫外域日射散乱率ともに増加するが、その増加傾向は日射散乱率の方がより顕著である、8) 雲量が多くなれば日射

*高層気象台 観測第三課

散乱率，紫外域日射散乱率ともに増加するが，その増加傾向は大きく異なる，等々が判明した。

このように多くの事実が判ったが，当装置は手動のため紫外域日射散乱率の詳細な季節変化や経年変化を明らかにすることができず，太陽光を自動追尾する自動遮蔽装置の開発が期待されていた．今回，この装置を開発するとともに，散乱波長別紫外域日射の定常観測を2005年8月に開始することができた．本稿では，Brewer用の自動遮蔽装置を紹介するとともに，約半年間のデータを解析したので報告する．

なお，測器の基本的構造や本稿で使用する測器に関する専門用語については，伊藤ほか(1991)，気象庁(1993)，Kipp & Zonen(1999)，及び伊藤・宮川(2001)等を参照していただきたい．

2. Brewer用自動遮蔽装置

2.1 装置の概要

Brewer用自動遮蔽装置は，Photo.1に示すように(a)回転フレーム(Rotating Frame)，(b)自動回転装置(Automatic Rotating Unit)，(c)固定フレーム(Binding Frame)，(d)制御用PC(Control PC)等で構成されている．

(a) 遮蔽球と回転フレーム (Black Shade Ball and Rotating Frame)

遮蔽球付き回転フレームは，黒色艶消し塗装を施したアルミ製フレームで，風による振動やたわみを防ぐ構造となっている．BrewerのUVドームを遮蔽する遮蔽球(Black Shade Ball)には，約20cmの軸が設けられており，この軸を回転フレーム先端に取り付ける．遮蔽球の軸は，出し入れの調整が可能で，遮蔽球で生じた太陽光の影をBrewerのUVドームの位置に一致させた後，軸の取り付け部の固定用ネジ(Screw)で固定させる．なお，遮蔽球の中心とUVドーム内の感部(テフロン拡散板)間の距離(L)や遮蔽球の直径(ϕ)は，前報告と同様，BSRNの基準(WMO:1996, Ohmura:2001)に基づき， $L=955\text{mm}$ ， $\phi=83\text{mm}$ とした．また回転フレームの2ヶ所には，回転に歪みを生じさせないための重り(Weight)がつけられている．

(b) 自動回転装置 (Automatic Rotating Unit)

自動回転装置は，駆動モーター，ドライバー，制御部，CPU，電源部で構成されており(ブリード:2005)，防水仕様となっている．2.2の設置手順に従い，駆動モーターの回転軸の延長上にBrewerのUVドームの拡散板が位置するように，当装置の位置を設定する．なお当装置はAC100V，0.5A仕様である．

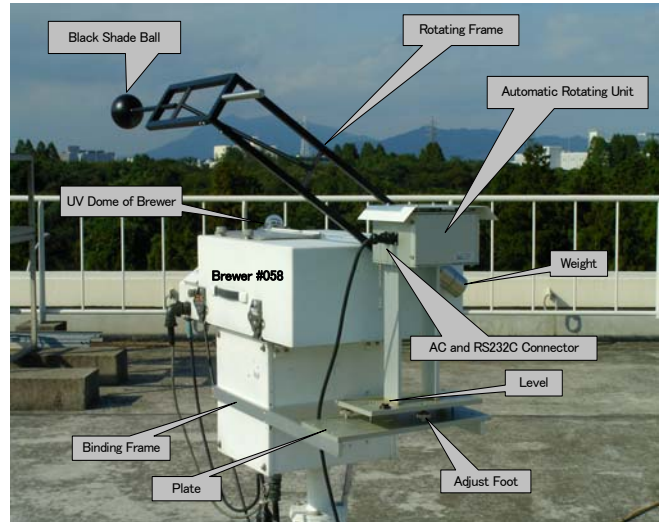


Photo. 1 Diffuse UV observation using Brewer #058 with automated shadow unit on the rooftop of the Aerological Observatory, Tsukuba.

装置外面には，AC電源ケーブル用コネクタと制御用ケーブルコネクタ(AC and RS232C Connectors)があり当該ケーブルを接続させるが，ケーブルを取り外す場合は2.2の手順による．装置底部には水準器(Level)があり，支点である3つのアジャストフット(Adjust Foot)で水準を調整する．

(c) 固定フレーム (Binding Frame)

固定フレームは，Brewerの方角追尾装置の周囲を囲むように締め付けて固定させる．フレームの片側には，自動回転装置を載せるプレート(Plate)が設けられている．前述の通り，自動回転装置のおおよその位置調整は，この固定フレームを上下させることにより行う．

(d) 制御装置 (Control PC)

制御装置はPC(Windows XP)で，その制御をハイパーターミナルで行う．制御する場合には，自動回転装置とRS232Cケーブルで接続するが，制御の設定が終了した後は，ケーブルとともに取り外しておくことができる．

2.2 装置の設置・制御手順

当装置の設置，作動，終了の各手順と制御用コマンドは以下の通りである．

[設置手順]

- 1) 固定フレームを Brewerの方角追尾装置に挟み込んで固定させる．

- 2) プレート上に自動回転装置を設置し、アジャストフットで水準をとる。
- 3) 自動回転装置の回転中心軸の延長上に Brewer の UV ドーム拡散板の中心が位置するよう、装置の位置を調整する。この調整で一致させることができない場合には、1) から再度実施する。
- 4) 電源ケーブルを接続する。このとき回転フレームは、原点位置に戻るよう自動的にリセットされる。
- 5) 原点位置がずれている場合には、フレーム絶対位置移動(MA)により水平にする。
- 6) 遮蔽球の影が拡散板を覆っていることを、朝、南中時、夕の3回、確認する。なお、UV 観測の時間帯(8分弱)に Brewer は方位の追尾を行わないので、その間、影が拡散板を十分に遮蔽していることを確認することが必要である。

[作動手順]

- 1) 自動遮蔽装置と制御装置を RS232C ケーブルで接続する。
- 2) Windows 起動後、ハイパーターミナルを作動させる。
- 3) 作動後は **接続設定** 画面となるので、登録名称を「Brewer」OK とする。
- 4) **電話番号の情報** 入力のところ、**接続方法** を「COM 1」OK とする。その他の部分は関係なし。
- 5) **COM 1 のプロパティ** のポート設定では、以下の通りの設定で OK とする。

ビット/秒 (B) : 「9600」
 データビット (D) : 「8」
 パリティ (P) : 「なし」
 ストップビット (S) : 「1」
 フロー制御 (F) : 「なし」

以上の作業で通信状態となり、遮蔽装置からの戻り値が画面最上行に刻々と表示される。数値が見つらいので 6) を行う。

- 6) 画面左上の **ファイル(F)** をクリックし、**プロパティ(R)** を選び、**Brewer のプロパティ** の画面とする。次に **設定** (接続の設定は変更なし) を選び、右下の **ASCII 設定(A)** をクリックする。**ASCII 設定** の画面で、下段に表示されている **ASCII 設定の受信の着信データに改行文字を付ける(A)** を「レ」として OK とし、再度、**Brewer のプロパティ** の **設定** 画面で OK とする。以上により、上記 5) の戻り値が画面に順次表示される。

[終了手順]

- 1) 画面左上の **ファイル(F)** をクリックし、**ハイパーターミナル**

の終了ではい(Y) とする。

- 2) RS232C ケーブルを自動遮蔽装置から取り外し、制御装置とともに撤収する。

[制御用コマンド]

制御コマンドは、以下の通り半角大文字入力とする。なお□はスペースを示す。

GC : 設定一覧 **GC** [Enter] 戻り値は以下の通り。
 YYY / MM / DD 例 : 2006 / 01 / 25
 HH : MM : SS 09 : 24 : 05
 LON, LAT 140.126, 36.058
 MA, 0 - 21.7000, 0.0000
 C0, C1, C2 23, 99, 99
 O0, O1, O2 99, 99, 99

SD : 日付の設定 **SD** □YYYY, MM, DD [Enter]
 例 : SD □2005, 01, 15

ST : 時刻の設定 **ST** □HH, MM, SS [Enter]
 例 : ST □09, 25, 01

SP : 緯度・経度の設定 **SP** □LON, LAT [Enter]
 例 : SP □140.126, 36.058 (単位は度)

GO : フレーム原点サーチ **GO** [Enter]

MA : フレーム絶対位置移動 **MA** □azi, 0 [Enter]
 例 : MA □-21.7000, 0

GP : 現在位置呼び出し **GP** [Enter]

C0~C2, O0~O2 : 遮蔽開始・解除時刻の設定(3通りの設定が可能) **C0~2** □MM [Enter] **O0~2** □MM [Enter]

C0 □MM 例 : C0 □55 (55分に遮蔽開始)
 C1 □MM C1 □25 (25分に遮蔽開始)
 C2 □MM C2 □99 (設定なし)
 O0 □MM O0 □05 (05分に遮蔽解除)
 O1 □MM O1 □35 (35分に遮蔽解除)
 O2 □MM O2 □99 (設定なし)

(注) 間欠遮蔽モードから連続遮蔽モードにする場合は、**C0** □MM のみに現在の時刻を入れる。

C0 □MM 例 : C0 □21 (21分に遮蔽開始)
 C1 □MM C1 □99 (設定なし)
 C2 □MM C2 □99 (設定なし)
 O0 □MM O0 □99 (設定なし)
 O1 □MM O1 □99 (設定なし)
 O2 □MM O2 □99 (設定なし)

SA : 連続遮蔽モード(通常は使用なし) **SA** [Enter]

SS : 間欠遮蔽モード(通常は使用なし) **SS** [Enter]

SC : コマンドモード(通常は使用なし) **SC** [Enter]

Table 1 Observation site and instruments

Observation site : Tsukuba(Tateno) 36.058N 140.126E
 Position : on the rooftop of the Aerological Observatory, Tsukuba
 Elevation : 23.5m MSL
 Data Period : 210th JD in 2005 ~ 31th JD in 2006
 Instrument :
 Diffuse UV observation : Brewer MKII #058
 Global UV observation : Brewer MKII #052
 The distance between #058 and #052 : about 5 m

Table 2 UVR Responsivity files of #058 and #052

[Inst. No.]	[Response File]	[Date of Calib.]	[NIST Lamp]
#058	uvr 230 04. 058	Aug. 17, 2004	S-1054
#052	uvr 250 04. 052	Sep. 06, 2004	S-1055

3. 自動遮蔽装置による散乱波長別紫外域日射観測

3.1 観測測器と観測地点

観測測器は前報(伊藤: 2005b, 以下前報と略す)と同様, Brewer MKII #058(以下#058 と呼ぶ)に自動遮蔽装置を取り付け散乱波長別紫外域日射観測装置とした. 紫外域日射の散乱成分と全天成分の比較では, 比較用基準測器を当台の定常観測用測器の同 MKII #052(以下#052 と呼ぶ)とした. これらの概要を Table 1 に示す.

なお本稿では, 比較のため全天日射量(直達日射量と散乱日射量との合成: Kipp & Zonen, CH1/950093, CM22/010048)と散乱日射量(Kipp & Zonen, CM22/010048)を使用した. これらの観測は#052 や#058 同様に当台屋上で実施している(高層気象台観測第三課: 1996).

3.2 比較観測方法

比較観測では, 前報と同様, 通常の観測用 uv.rtn と比較観測用 uz.rtn を併用した毎時観測の走査とし, 時刻制御の skc.rtn を使用した. ただし, 今回の解析では通常の uv.rtn による観測値を使用した. なお, これらの波長走査等については前報の通りなので割愛する.

3.3 測器状態・測器感度トレンドと比較解析方法

#058 の測器状態については, 通常測器と同様, sl-点検, hg-点検, fr-点検, dt-点検, rs-点検の各点検を毎日実施して監視した. その結果, 2005 年 8 月にプッシュロッドの交換, 11 月に水銀ランプの交換とマイクロメータの調整を行ったものの, それ以外はほぼ順調に経過した.

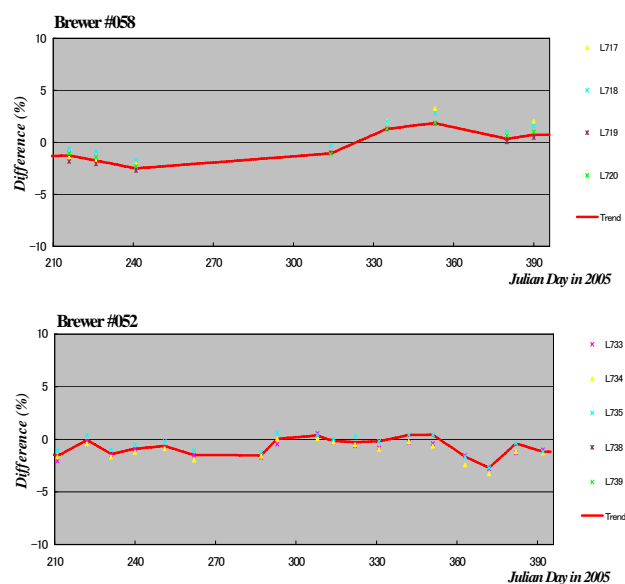


Fig. 1 Trend of responsivity difference (%) of Brewer MKII #058 and Brewer MKII #052 in 2005 by external lamp tests using five 50W lamps.

Upper: #058 trend by lamps (L716, L717, L718, L719 and L720).

Lower: #052 trend by lamps L733, L734, L735, L738 and L739.

測器感度の監視は, 通常測器と同様, 5 個のホルダー付 50W ハロゲンランプを使用した外部標準ランプ点検により実施した. 結果を Fig.1 に示す. 図の通り, #058 の測器感度トレンド($\alpha_{\#058}$: Responsivity difference)は, 夏~秋(240~300 Julian Day)に若干低下したが, それ以降は上昇に転じ+1%程度で推移した. また#052 の測器感度トレンド($\alpha_{\#052}$)については, 若干の変動はあるものの, 年間を通してほぼ 0%で推移した. このように両測器の測器感度には, 比較期間中, 若干の変動が認められたもののほぼ安定していたと考えてよい.

観測値の解析では uv.rtn による uv ファイルを用い, 算出プログラム(能登・伊藤: 2000)により, TUV, UVB, DUV, CIE の 4 種の積算紫外域日射量として算出した. また, その結果に対し上記の測器感度トレンド($\alpha_{\#058}$)と $\alpha_{\#052}$)による補正を行った. 使用した uv 観測用の測器常数は Table 2 の通りである.

比較解析では, 各測器による 4 種の照度について, 散乱紫外域日射量を UV_DF, 全天紫外域日射量を UV_GL とし, 両日射量の照度比 RDF を散乱率として $RDF_{UV} = UV_DF / UV_GL$ で表した. なお, 日射領域の場合も同様に, 散乱日射量を Solar_DF, 全天日射量を Solar_GL とし, 算出される散乱率 RDF を RDF_{SOLAR} とした. これらは次の通りである.

UV_DF : Diffuse UV radiation by Brewer #058
 UV_GL : Global UV radiation by Brewer #052
 $RDF_{UV} = UV_DF / UV_GL$
 Solar_DF : Diffuse Solar radiation by Shaded Pyranometer
 Solar_GL : Global Solar radiation by Shaded Pyranometer and
 Pyrheliometer
 $RDF_{SOLAR} = Solar_DF / Solar_GL$

3.4 フレームの影響に関する試験 Ir#058 / Ir#052

天空開放度を狭める遮蔽球以外の遮蔽装置回転フレームや自動回転装置の影響について、前報と同様、比較観測により調査した。#058 を 1) 全装置を取り除いた場合(2006年1月25日)と、2) 遮蔽球のみを取り除いた場合(同年1月27日)とし、基準測器#052 との比較を行った。比較結果(TUV, UVB, CIE, DUV の4種の最小～最大)を以下に示す。このように回転フレームや自動回転装置の影響は、前報と同様ほぼ1%以内の誤差となり、当装置の場合も観測値に補正の必要のないことが明らかとなった。

1) Normal Comparison (Normal)

$Ir\#058 / Ir\#052 = 0.986 \sim 0.992$

2) Frame Effect Test (with Frame and no Black Shade)

$Ir\#058 / Ir\#052 = 0.989 \sim 0.993$

4. 散乱紫外域日射量と散乱率

4.1 日積算値・日散乱率の月・6ヶ月平均値

毎時観測された紫外域日射量4種(TUV, UVB, DUV, CIE)について、UV_DF と UV_GL の日積算値を求め、その日積算値の月平均と、月平均値の6ヶ月(8~1月)平均を算出した。また散乱率 RDF_{UV} についても日積算値から算出した4種毎の日散乱率を求め、その月平均と月平均値の6ヶ月平均を算出した。したがって RDF_{UV} については、月平均積算値から算出した値とは若干異なる。また日射

領域の Solar_DF や Solar_GL, さらに RDF_{SOLAR} も同様に算出した。これらの結果を Table 3 と Fig.2 に示す。

月平均日積算紫外域日射量については、太陽高度角やオゾン全量等の様々な要因により左右されるが、Fig.2 の通り 2005年8月以降の UV_DF (a-1) と UV_GL (b-1) は、前述の4種ともほぼ同じ季節変化となった。また、散乱率 RDF_{UV} (c-1) は、下記の通りこの6ヶ月間、10月に約0.91と増大するがほぼ0.84~0.89で推移した。これら4種の値は、 $RDF_{TUV} < RDF_{UVB} < RDF_{CIE} < RDF_{DUV}$ となり、長波長域の成分が多く含まれる積算値ほど低い散乱率となっている。この傾向は、日射領域に近い紫外域日射ほど散乱率が低くなるという前報の結果に同調する。

Mean of 6 monthly means (from Aug. to Jan.) of daily RDF_{UV}

$RDF_{TUV} = 0.869$ Max: 0.906 (Oct), Min: 0.843 (Dec)
 $RDF_{UVB} = 0.871$ Max: 0.908 (Oct), Min: 0.845 (Dec)
 $RDF_{DUV} = 0.874$ Max: 0.913 (Oct), Min: 0.848 (Dec)
 $RDF_{CIE} = 0.872$ Max: 0.910 (Oct), Min: 0.846 (Dec)

これらの結果は、前報による快晴日の散乱率(20例中、最小で約0.46, 9.5~14.5hの平均で約0.77)に比べ、高い値となった。これは、当結果には快晴日だけではなく曇天日や降雨日も入るので、当然快晴や晴れの日だけの結果より高くなる。いっぽう、この散乱率の6ヶ月間の変化は10%以内であり、それほど天候に大きく左右されないことが明らかとなった。

日射量については、Fig.2の(a-2)と(b-2)に示されるように、Solar_GL と Solar_DF の変化形態は異なり、Solar_DF は徐々に低下するもののSolar_GLは10月以降ほぼ一定で推移した。日射領域の散乱率 RDF_{SOLAR} は、

Mean of 6 monthly means (from Aug. to Jan.) of daily RDF_{SOLAR}

$RDF_{SOLAR} = 0.552$ Max: 0.707 (Oct), Min: 0.340 (Dec)

Table 3 Monthly means of daily total UV irradiance and diffuse irradiance ratio (diffuse / global) from Aug. 2005 to Jan. 2006.

Year	Month	UV_DF by Brewer MKII #058				UV_GL by Brewer MKII #052				RDuv (UV_DF / UV_GL)				Solar_DF/ Solar_GL
		TUV	UVB	DUV	CIE	TUV	UVB	DUV	CIE	TUV	UVB	DUV	CIE	
2005	8	67687	20824	581	2366	81348	25099	701	2852	0.852	0.850	0.851	0.851	0.655
	9	49819	15045	409	1685	59731	17923	487	2009	0.867	0.873	0.876	0.874	0.660
	10	31068	8839	221	951	36170	10272	257	1104	0.906	0.908	0.913	0.910	0.707
	11	26757	6741	151	691	31513	7931	177	813	0.865	0.866	0.867	0.866	0.448
	12	19641	4215	86	421	23604	5045	102	503	0.843	0.845	0.848	0.846	0.340
2006	1	19360	4188	86	418	22746	4898	100	489	0.883	0.885	0.887	0.885	0.502
Average of 6 Months		35722	9975	256	1089	42519	11861	304	1295	0.869	0.871	0.874	0.872	0.552

Irradiance : J/m²

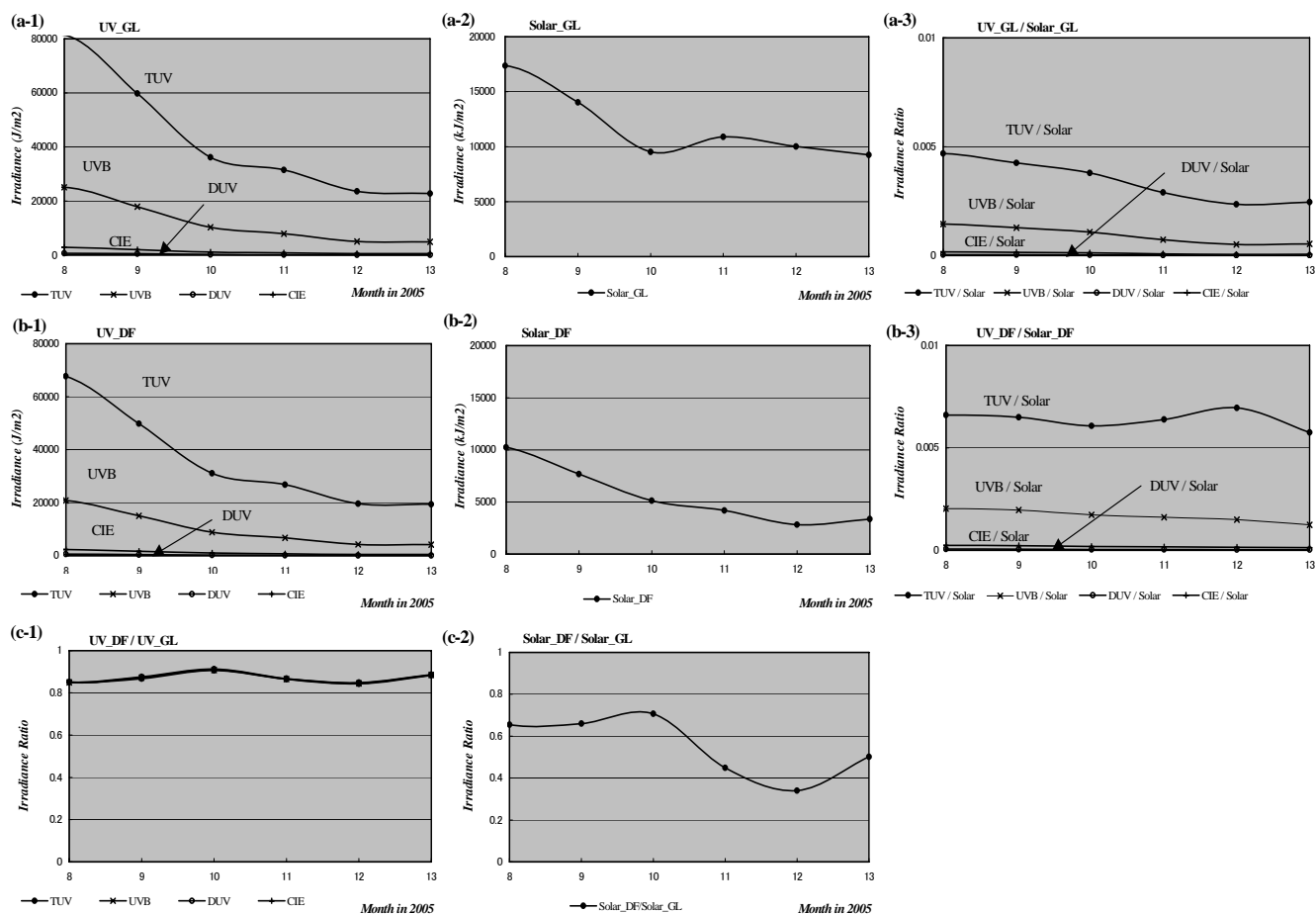


Fig. 2 Monthly means of daily total irradiance and diffuse irradiance ratio (diffuse / global) from Aug. 2005 to Jan. 2006.

(a-1) UV_{GL}: Global UV (TUV, UVB, DUV and CIE) irradiance (J/m^2) by Brewer MKII #052. (b-1) UV_{DF}: Diffuse UV (TUV, UVB, DUV and CIE) irradiance (J/m^2) by Brewer MKII #058. (c-1) UV_{DF} / UV_{GL}: RDF (Diffuse irradiance ratio) of UV (TUV, UVB, DUV and CIE). (a-2) Solar_{GL}: Global solar irradiance (kJ/m^2) by shaded pyranometer CM22 and pyrliometer CH1 of Kipp & Zonen. (b-2) Solar_{DF}: diffused solar irradiance (kJ/m^2) by pyranometer CM 22 of Kipp & Zonen. (c-2) Solar_{DF} / Solar_{GL}: RDF (Diffuse irradiance ratio). (a-3) UV_{GL} / Solar_{GL}: Global UVB irradiance ratio to global solar irradiance. (b-3) UV_{DF} / Solar_{DF}: diffuse UVB irradiance ratio to diffuse solar irradiance.

となり、 RDF_{UV} より30%程度低い値となった。 RDF_{SOLAR} は、8~10月に0.6~0.7で推移していたが、11~12月に0.5以下になった。これは、11月以降天候が良好となり、快晴や晴れの日数が多くなったためと考えられる。

以上から日積算紫外域日射量の月平均値散乱率 RDF_{UV} は、 RDF_{SOLAR} のように天候に大きく左右されることのないことが明らかとなった。またUV_{GL} / Solar_{GL}の関係は、(a-3)の通り8月以降12月まで徐々に減少するが、UV_{DF} / Solar_{DF}では8月以降ほぼ一定で、12月に若干の上昇傾向が認められた。

4.2 日積算値の変化

4.1で求めた毎時観測の紫外域日射量(TUV, UVB, DUV, CIE)のUV_{DF}とUV_{GL}の日積算値をFig.3の(a-1)

と(b-1)に、日射量のSolar_{DF}とSolar_{GL}の日積算値を(a-2)と(b-2)に、またそれらの日散乱率 RDF_{UV} と RDF_{SOLAR} を(c-1)と(c-2)に示した。さらに、日射量に対する紫外域日射量の割合(UV_{GL} / Solar_{GL}及びUV_{DF} / Solar_{DF})を(a-3)と(b-3)に示す。

日々のUV_{GL}とUV_{DF}は、図の通り4種とも8月中旬(220 JD頃)以降、ほぼ同様に減少し、12月中~下旬(350 JD頃)に最小、1月初旬(370 JD頃)より上昇に転じる。いっぽう RDF_{UV} は8~9月(210~260 JD頃)には0.62以上となったが、10月(280 JD頃)以降、0.75以上の高い値で推移した。これは4.1で明らかになったように、 RDF_{UV} は天候にあまり左右されないものの、11月以降快晴や晴れの日が多かったためと考えられる。

日々のSolar_{GL}とSolar_{DF}は、Fig.3(a-2)と(b-2)の通

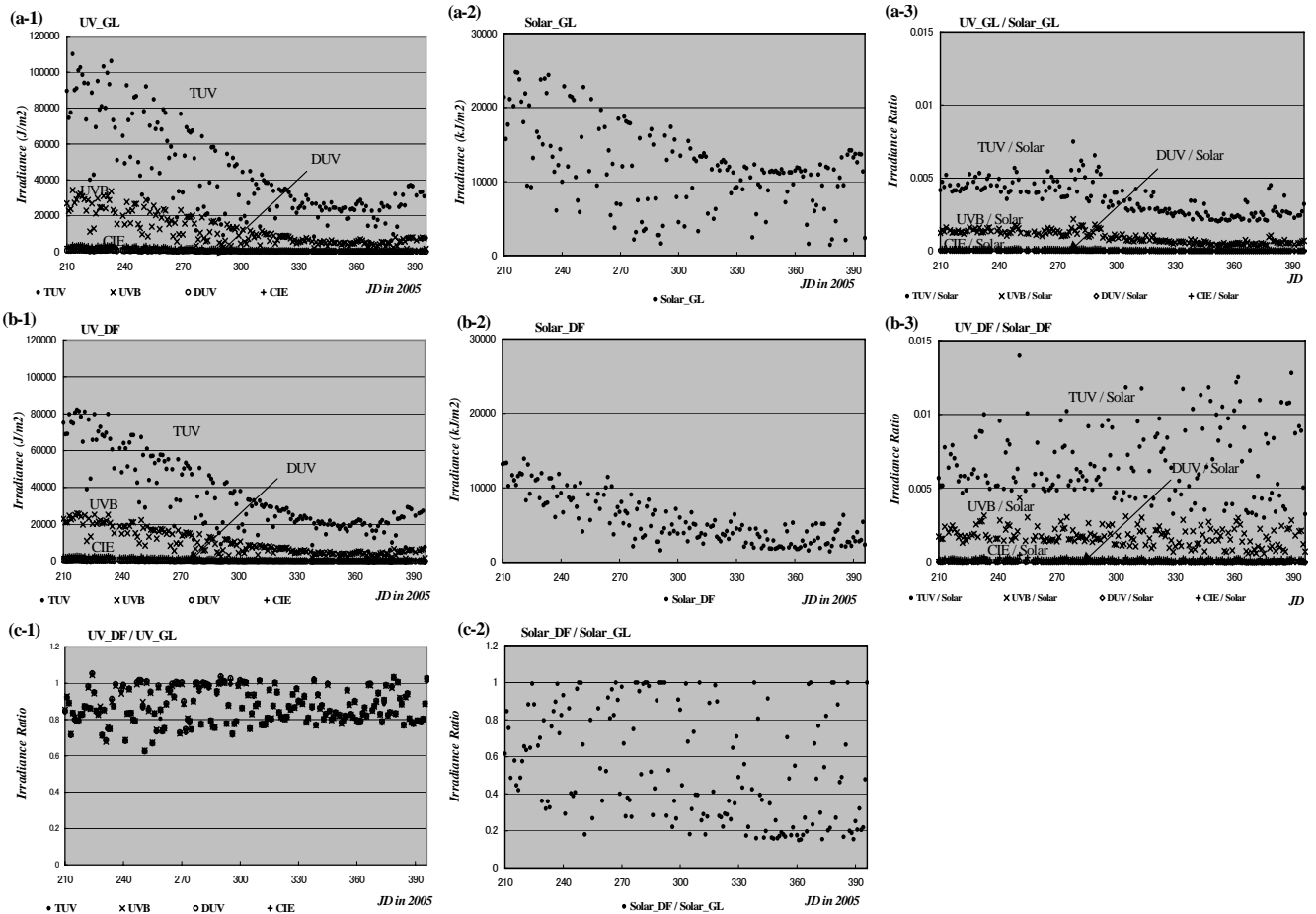


Fig. 3 Daily totals of irradiance and diffuse irradiance ratios (diffuse / global) from Aug. 2005 to Jan. 2006.

Results (a-1), (b-1), (c-1), (a-2), (b-2), (c-2), (a-3) and (b-3) corresponds to the same chart in Fig.2, respectively.

り, UV_GL や UV_GL と同様, 8 月(220 JD 頃)以降減少傾向を示し, 12 月中～下旬(350 JD 頃)に最小, 1 月初旬(370 JD 頃)以降上昇に転じた. いっぽう, 日々の RDF_{SOLAR} は 0.18 ～1.00 の広範囲に分布し, 前述の RDF_{UV} が 0.62～1.00 の狭い範囲に分布するのと対照的となっている. また RDF_{SOLAR} は 11 月(310 JD 頃)以降, 快晴や晴れの日が続いたため 0.18 程度の低い日が多くなった.

UV_GL / Solar_GL の関係は, (a-3)の通り 8 月(210 JD 頃)以降 12 月(350 JD 頃)まで減少傾向となるが, 10 月中旬(280 JD 頃)に UV_GL が多かった日が認められた. これは, この時期に毎日降雨が続いていたことに起因する可能性がある. これに対し, UV_DF / Solar_DF の関係は, (b-3)の通り 8 月(210 JD 頃)以降ほぼ一定であるが, 12 月(330 JD 頃)以降若干高い日が認められるようになった.

4.3 散乱波長別紫外域日射量とその反射率

全天紫外域日射 UV_GL と散乱紫外域日射 UV_RF の日

積算波長別観測値を Fig.4 の(a-1)と(a-2)に, またそれらから求めた波長別散乱率 RDF_{UV} を(a-3)に, それぞれ波長 5nm 毎に示した. さらに, これらの日積算波長別観測値の月平均を求め, 月毎の平均スペクトルを(b-1)と(b-2)に示し, それらから求めた月別の散乱率を(b-3)に示した.

(a-1)や(a-2)の UV_GL と UV_DF の間には, 波長毎に顕著な変化傾向のちがいは認められなかった. いっぽう(a-3)の RDF_{UV} には, 10 日移動平均値を実線で記入したが, 270～310 JD に短波長域の散乱率が増加していることがわかる. この時期はオゾン全量の減少期とほぼ一致しており, それに起因するものではないかと推定される. また, 11 月(310～340 JD)にはそれらより低下し, さらに 12 月(350～370 JD)ではより低くなる. これも前述の通り, 11 月以降の連続した晴天日の影響と考えられる.

月平均スペクトルの(b-1)や(b-2)では, 月平均紫外域日射量の強さに応じて季節毎にスペクトルが上下する. (b-3)の波長別散乱率では, 全波長域とも 10 月に高く 12

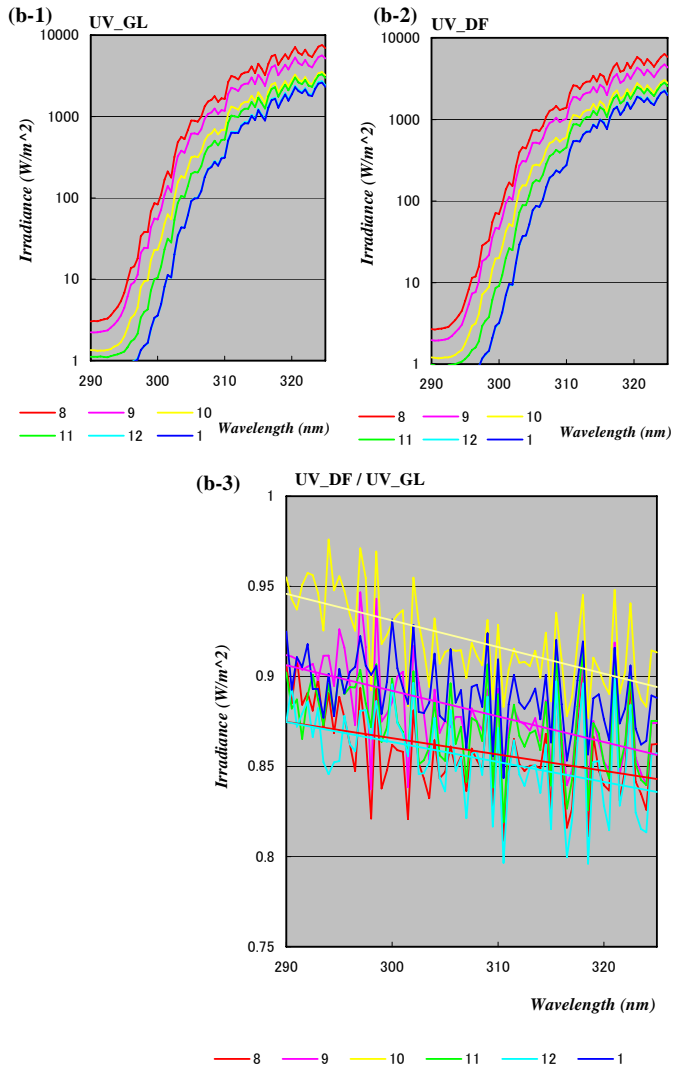
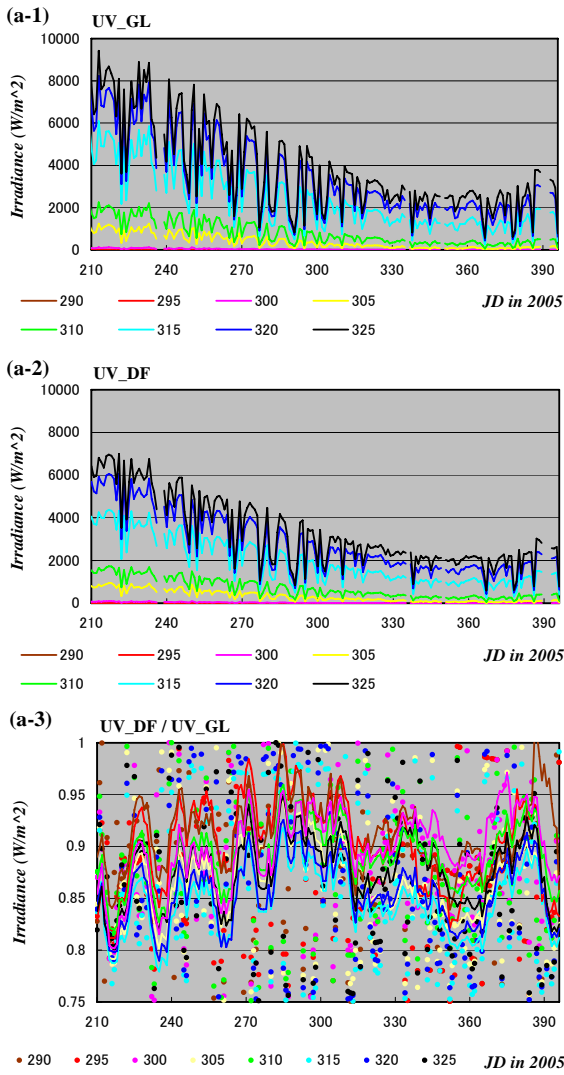


Fig. 4 Daily totals of spectral irradiance and spectral diffuse irradiance ratios (diffuse / global), and the monthly spectral means from Aug. 2005 to Jan. 2006.

- (a-1) UV_GL: Global spectral UV per 5 nm from 290 to 325 nm.
- (a-2) UV_DF: Diffuse spectral UV per 5 nm from 290 to 325 nm.
- (a-3) UV_DF / UV_GL: Ratio of diffuse to global of spectral UV per 5nm from 290 to 325 nm.
- (b-1) UV_GL: Monthly mean of global UVB spectra per 0.5 nm from 290 to 325 nm.
- (b-2) UV_DF: Monthly mean of diffuse UV spectra per 0.5 nm from 290 to 325 nm.
- (b-3) UV_DF / UV_GL: Monthly mean of spectral irradiance ratios of UV per 0.5 nm from 290 to 325 nm.

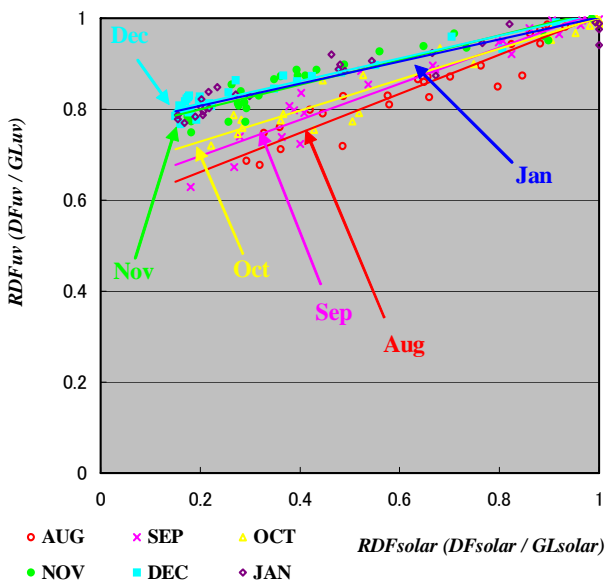


Fig. 5 Seasonal relations between RDF_{UV} (daily diffuse UVB irradiance ratio) and RDF_{SOLAR} (daily diffuse solar irradiance ratio) from Aug. 2005 to Jan. 2006.

月に低い季節変化がよく現れている。また、図中にこれらの近似直線を記入したが、各月とも右下がりとなり、長波長域ほど散乱率が低くなっている。この事実は、前報の結果(低下率:0.3%/nm)を裏付けるものと考えられる。

4.4 紫外域日射散乱率 RDF_{UV} と日射散乱率 RDF_{SOLAR}

6ヶ月間の日積算紫外域日射の散乱率 RDF_{UV} と日射散乱率 RDF_{SOLAR} との関係を調べた。4種の中でUVBの RDF_{UV} と日射量の RDF_{SOLAR} との関係を Fig.5 に示す。図中ではそれらを月毎に区分し、回帰直線を付け加えた。

図に示されるように、 RDF_{SOLAR} が高くなれば RDF_{UV} も高くなるが、 RDF_{UV} は0.6以上で推移する。例えば8月では RDF_{SOLAR} が0.2のとき RDF_{UV} は0.65程度、同様に0.8のときに0.92程度となることが判る。

また月別の回帰直線をみると、夏ほど左下がりになる傾向が強くなるという季節変化が認められる。すなわち、冬に RDF_{SOLAR} が低くなっても RDF_{UV} はそれほど低くなることはない。また RDF_{SOLAR} は季節変化が著しく、 RDF_{UV} は顕著な季節変化を示さないことが判る。

5. まとめ

本稿では、ブリューワー分光光度計用の自動遮蔽装置を紹介するとともに、散乱波長別紫外域日射の定常観測を2005年8月より実施し、それ以降の約半年間のデータを解析した。これらの結果は以下のとおりである。

- (1) Brewer用自動遮蔽装置は、遮蔽球、回転フレーム、自動回転装置、固定フレーム、制御用PC等で構成され、装置の精確な初期設定を行えば自動的に太陽光を追尾することができる。
- (2) UVドームを遮蔽する方法は、連続遮蔽と間欠遮蔽の2種類があり、後者の方法には毎時任意の3種の時間に開閉させる設定が可能である。
- (3) 当装置のフレームが天空開放度に及ぼす影響は1%以下であり、観測値に補正を施す必要はない。
- (4) 当装置による散乱波長別紫外域日射の定常観測を2005年8月より開始し、2006年1月までの6ヶ月間の観測値を解析した。結果は以下の通りである。
 - a) 月平均の全天及び散乱日積算紫外域日射量(UV_GLとUV_DF)及び日散乱率(RDF_{UV})は、Table 3のとおりまとめられる。UV_DFとUV_GLは、4種(TUV, UVB, CIE, DUUV)ともほぼ同じ変化傾向となったが、 RDF_{UV} は、10月に約0.91と若干増大したものの、この6ヶ月間はほぼ一定で推移した(6ヶ月間の平均:0.869~0.874)。この傾向は日射散乱率 RDF_{SOLAR}

の変化傾向(6ヶ月間の平均:0.552, 10月に最大0.707, それ以降0.4以下にまで減少)とは大きく異なる。これらにより、 RDF_{UV} は RDF_{SOLAR} に比べ、天候に大きく左右されないことが明らかとなった。

- b) 日積算値の日々散乱率については、 RDF_{UV} が0.62~1.00の狭い範囲に分布するのに対し、 RDF_{SOLAR} は0.18~1.00の広範囲に分布する。
- c) 波長別の月平均日積算紫外域日射量は、季節毎に異なったスペクトルを示す。またその波長別散乱率は、10月に高く、12月に低い季節変化を示し、各月とも長波長域ほど散乱率が低くなる。
- d) 6ヶ月間の散乱率 RDF_{UV} と日射散乱率 RDF_{SOLAR} との関係には季節変化が認められる。

以上のように、散乱波長別紫外域日射の定常観測を2005年8月より開始し、若干ではあるが紫外域日射の散乱率の挙動を明らかにすることができた。このような定常観測は従来報告されておらず、貴重な観測と思われる。今後、この精密な観測を続けることにより、天候、大気混濁度、視程、さらにオゾン全量といった要素との関連についての詳細な解析が可能になるものと期待される。

謝 辞

本稿を草するに際し、観測第三課の廣瀬保雄課長には数々のご助言を賜り、ブリード社の古賀陽庸氏と河井和弘氏には装置の製作面でご苦勞をおかけした。また、全天・散乱日射量のデータは、同課の長井勝栄研究官に提供していただいた。これらの方々に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 伊藤真人・宮川幸治(2001):二重分光光度計MKIIIによる紫外域日射観測。高層気象台彙報, **61**, 5-28。
- 伊藤真人(2004):ブリューワー分光光度計を利用した地面反射波長別紫外域日射観測装置の開発と観測。高層気象台彙報, **64**, 19-34。
- 伊藤真人(2005a):ブリューワー分光光度計による地面反射波長別紫外域日射の精密観測結果2004年。高層気象台彙報, **65**, 37-44。
- 伊藤真人(2005b):ブリューワー分光光度計を利用した散乱波長別紫外域日射の精密観測。高層気象台彙報, **65**, 23-36。
- 伊藤朋之・上野丈夫・梶原良一・下道正則・上窪哲郎・伊藤真人・小林正人(1991):地上到達紫外線量の監視技術の開発ーオゾン層変化に伴う地上到達紫外線量の変

- 化のスペクトル観測による評価一. 気象庁研究時報, **43**, 213 - 273.
- Kipp & Zonen (1999) : Brewer MKIII spectrophotometer operator's manual, OM-BA-C231 Rev B. *Kipp & Zonen Inc., Canada*, 135pp.
- 気象庁(1993) : 紫外域日射観測指針. 気象庁, 83pp.
- 高層気象台観測第三課(1996) : 日射・放射資料集. 気象庁高層気象台, 196pp.
- 能登美之・伊藤真人(2000) : 波長別紫外域日射観測用プログラムの改訂(II). 高層気象台彙報, **60**, 57 - 62.
- Ohmura, A. (2002) : Examination of shading mechanism for diffuse sky irradiance measurement for the BSRN use. *Report for the seventh BSRN science and review workshop, WCRP Informal Report No.18/2002, Annex 3 to Diffuse Geometry WG Report*, 4pp.
- プリード(2005) : BREWER 用遮蔽装置取扱説明書. (株)プリード, 3pp.
- WMO(1996) : Guide to meteorological instruments and methods of observation. *WMO, No.188*, I.7 - 1 - I. 7 - 20.